

**ANALISA FASA PADA BESI COR KELABU DAN BESI COR NODULAR  
MENGUNAKAN *SCANNING ELECTRON MICROSCOPE* (SEM) DENGAN  
*BACKSCATTERED ELECTRON* (BSE)**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I  
pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

**Oleh:**

**MUHAMMAD ARIF HIDAYAT**

**D 200 170 194**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2021**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**ANALISA FASA PADA BESI COR KELABU DAN BESI COR NODULAR  
MENGUNAKAN *SCANNING ELECTRON MICROSCOPE* (SEM) DENGAN  
*BACKSCATTERED ELECTRON* (BSE)**

**PUBLIKASI ILMIAH**

Oleh:

**MUHAMMAD ARIF HIDAYAT**

**D 200 170 194**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



**Ir. Agung Setyo Darmawan, M.T**

**NIK. 896**

## HALAMAN PENGESAHAN

### ANALISA FASA PADA BESI COR KELABU DAN BESI COR NODULAR MENGUNAKAN *SCANNING ELECTRON MICROSCOPE* (SEM) DENGAN *BACKSCATTERED ELECTRON* (BSE)

Oleh :

**MUHAMMAD ARIF HIDAYAT**

**D 200 170 194**

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari Selasa, 15 November 2021  
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat.

Dewan Penguji :

1. Ir. Agung Setyo Darmawan, M.T.

(Ketua Dewan Penguji)

(.....)

2. Patna Partono, S.T., M.T.

(Anggota I Dewan Penguji)

(.....)

3. Ir. Subroto, M.T

(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

Dekan,



**Rois Fathoni, S.T., M.Sc., Ph.D**

**NIK.892**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 11 November 2021

Penulis



**MUHAMMAD ARIF HIDAYAT**

**D 200 170 194**

# ANALISA FASA PADA BESI COR KELABU DAN BESI COR NODULAR MENGUNAKAN *SCANNING ELECTRON MICROSCOPE* (SEM) DENGAN *BACKSCATTERED ELECTRON* (BSE)

## Abstrak

*Scanning electron microscope* (SEM) merupakan suatu alat pengamatan struktur mikro yang terdapat dalam suatu material. Permukaan benda kerja atau sample dipindai dengan elektron dan sinar elektron yang dipantulkan kemudian dikumpulkan, setelah itu ditampilkan pada sebuah layar melalui detector tertentu. Gambar di layar biasanya berupa informasi topologi, morfologi, maupun komposisi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro pada besi cor kelabu dan besi cor nodular dengan detector *backscattered electron* (BSE) serta komposisi di dalamnya menggunakan pengujian SEM-EDS/EDX. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa pada besi cor kelabu terdapat fasa grafi, perlit, dan sedikit ferit. Pada fasa grafit memiliki komposisi unsur yaitu C = 91,73, Fe = 4,70 %, O = 3,49 %, Si = 0,06 %, dan S = 0,02 % . Sedangkan untuk fasa perlit terdapat unsur Fe = 75,32 %, C = 21,71 %, Si = 2,47 %, Ni = 0,36 %, Ti = 0,14 %. Kemudian pada besi cor nodular terdapat struktur mikro grafit, perlit, dan sedikit ferit. Komposisi fasa grafit yaitu unsur C = 96,52 % menjadi unsur paling dominan yang diikuti unsur Fe = 3,13 %, Cu = 0,09 %, Si = 0,15 %, dan Ti = 0,05%. Sedangkan untuk fasa perlit memiliki komposisi unsur yaitu Fe = 61,10 %, C = 34,74%, Si = 2,23 %, Al = 1,41 %, Mn = 0,38 %, dan Nb = 0,14 %. Berdasarkan uraian tersebut, maka kedua sample besi cor tersebut merupakan besi cor perlitik dengan matriks utama adalah fasa perlit.

**Kata kunci :** *scanning electron microscope* (SEM), EDS/EDX, besi cor

## Abstract

*Scanning electron microscope (SEM) is a microstructure observation tool contained in a material. The surface of the workpiece or sample is scanned with electrons and reflected electron rays are then collected, after which it is displayed on a screen through a particular detector. Images on the screen are usually topological, morphological, and compositional information. This study was conducted to find out the microstructure of gray cast iron and nodular cast iron with backscattered electron detector (BSE) and the composition in it using SEM-EDS / EDX testing. Results from the tests showed that in gray cast iron there are phases of graph, perlite, and slight ferrite. In the graphite phase has an elemental composition that is C = 91.73, Fe = 4.70 %, O = 3.49 %, Si = 0.06 %, and S = 0.02 %. As for the perlite phase there are elements Fe = 75.32 %, C = 21.71 %, Si = 2.47 %, Ni = 0.36 %, Ti = 0.14 %. Then in nodular cast iron there are microstructures of graphite, perlite, and a little ferrite. The composition of the graphite phase of element C = 96.52 % became the most dominant element followed by the element Fe = 3.13 %, Cu = 0.09 %, Si = 0.15 %, and Ti = 0.05%. As for the perlite phase has an elemental composition, namely Fe = 61.10 %, C = 34.74%, Si = 2.23 %, Al = 1.41 %, Mn = 0.38 %, and Nb = 0.14 %. Based on the description, then both cast iron samples are perlytic cast iron with the main matrix is the perlite phase.*

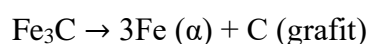
**Keywords :** *scanning electron microscope (SEM), EDS/EDX, cast iron*

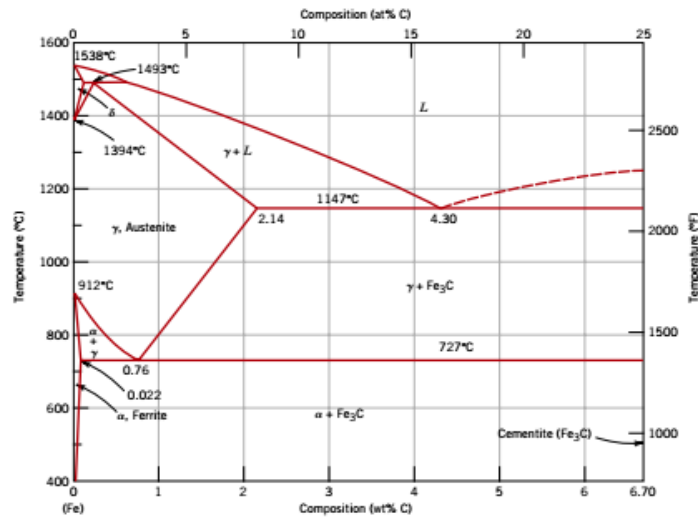
## 1. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri maupun material tentunya sangat tidak asing dengan material besi cor. Besi cor merupakan salah satu bahan yang paling penting dalam dunia pengecoran dan banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari mulai dari perabotan rumah tangga hingga komponen-komponen otomotif. Kandungan karbon dalam besi cor sangat mempengaruhi struktur di dalamnya, dapat berupa karbon sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) maupun karbon bebas (grafit). Kandungan grafit pada besi cor mempunyai peranan penting dalam membentuk sifat mekanik besi cor itu sendiri, berupa keliatan (*ductility*), kekuatan (*strength*), dan ketangguhan (*toughness*). Beberapa jenis besi cor yang paling umum yaitu besi cor putih (*white cast iron*), besi cor kelabu (*gray cast iron*), besi cor nodular (*nodular cast iron*), dan besi cor malleable.

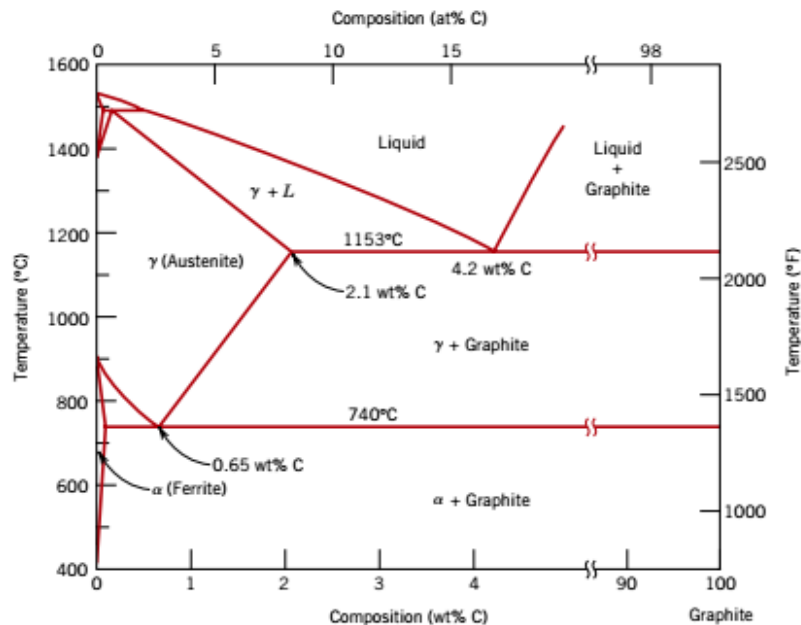
Besi cor merupakan salah satu bahan yang paling penting karena paling banyak digunakan dibandingkan logam lainnya. Besi cor memiliki kandungan karbon di atas 2% sampai 4%. Namun yang sering kita jumpai di lapangan memiliki kandungan 3% sampai 4,5% dan disertai dengan paduan lainnya. Diagram fasa besi-besi karbida dapat dilihat pada gambar 1 memperlihatkan bahwa paduan besi cor memiliki kondisi cair sepenuhnya lebih rendah dibandingkan terhadap baja, yaitu sekitar  $1150^\circ\text{C}$  sampai  $1300^\circ\text{C}$  atau  $2100\text{--}2350^\circ\text{F}$  (Callister, W.D. & Rethwisch, 2014).

Pada paduan besi karbon terdapat lima jenis fasa yang berbeda, diantaranya fasa cair (L), besi alfa  $\alpha$  (ferrit), besi gamma  $\gamma$  (austenit) dalam bentuk padat, besi delta  $\delta$  (ferrit) dalam bentuk padat dan senyawa  $\text{Fe}_3\text{C}$  (sementit).  $\text{Fe}_3\text{C}$  merupakan senyawa metastabil dan dapat dibuat terdekomposisi membentuk ferrit dan grafit sesuai dengan reaksi. Maka dari itu, diagram fasa besi dan karbon lebih tepatnya ditunjukkan pada gambar 2 (Callister, W.D. & Rethwisch, 2014). Namun pada gambar 2 terdapat peluasan sebesar 100% berat C sehingga grafit merupakan fasa yang kaya akan karbon, bukan sementit pada 6,7% berat C pada gambar 1. Pembentukan grafit dipengaruhi oleh komposisi dan laju pendinginan yang diterapkan (Darmawan, 2020).





Gambar 1 Diagram fasa besi-besi karbida



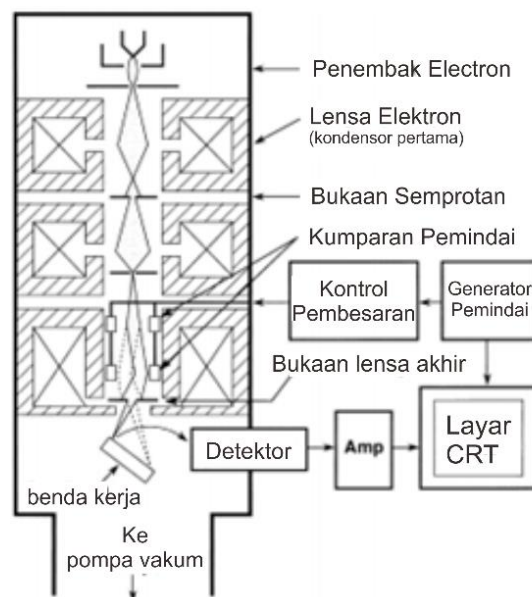
Gambar 2 Diagram keseimbangan fasa besi karbon sebenarnya dengan grafit sebagai fasa stabil

*Scanning electron microscope* (SEM) merupakan sebuah alat pengamatan struktur mikro yang terdapat dalam material tertentu. Permukaan benda kerja atau material dipindai dengan elektron dan sinar elektron yang dipantulkan kemudian dikumpulkan, setelah itu ditampilkan pada sebuah layar melalui detektor. Gambar di layar biasanya berupa informasi topologi, morfologi, maupun komposisi. Permukaan spesimen atau material yang akan digunakan harus berupa konduktor (mampu menghantarkan listrik),

bisa dilakukan pemolesan/pelapisan terlebih dahulu apabila spesimen tidak bersifat konduktor. Perbesaran lensa yang mampu dilakukan oleh *scanning electron microscope* (SEM) sebesar 10 sampai lebih dari 50.000 kali dimungkinkan (Supriyono, 2017).

*Scanning electron microscope* (SEM) memiliki mekanisme kerja dimulai dengan suatu sinar electron dipancarkan dari *electron gun* yang dilengkapi dengan katoda filamen tungsten. Sinar electron difokuskan oleh satu atau dua lensa kondensor kesuatu titik dengan diameter 0,4 nm sampai 5 nm. Sinar kemudian melewati sepasang gulungan pemindai (*scanning coil*) atau sepasang pelat deflektor di kolom electron yang terdapat pada lensa terakhir, kemudian membelokkan sinar di sumbu x dan y sehingga dapat dipindai dalam mode raster di area persegi permukaan spesimennya. Pada saat electron berinteraksi dengan spesimen atau disebut sebagai volume interaksi yang bergantung pada energi electron, nomor atom, dan kepadatan spesimen sendiri.

Kemudian raster pemindaian layar CRT disinkronkan dengan sinar pada spesimen di mikroskop, dan gambar yang akan dihasilkan berasal dari peta distribusi intensitas sinar yang dipancarkan dari daerah spesimen yang dipindai. Hasil dari gambar dapat diambil dari fotografi tabung sinar katoda beresolusi tinggi namun pada mesin modern didukung dengan sebuah monitor komputer (Nugroho & Bayuseno, 2012). Berikut gambar skema dan alat *scanning electron microscope* (SEM) dapat dilihat pada gambar 3 (Goldstein dkk, 2003).



Gambar 3 Skema dan bagian-bagian *scanning electron microscope*



Dalam *scanning electron microscope* (SEM) penggunaan detector sangatlah disesuaikan dengan kebutuhan maupun kepentingan yang akan dilakukan, hal ini dikarenakan hasil serta informasi dari gambar yang diberikan dari setiap detector sangatlah berbeda, seperti yang tertera pada tabel 1 (Aaronson dkk, 1992) . Secara umum penggunaan detector pada alat *scanning electron microscope* menggunakan mode detektor *secondary electron* dan *backscattered electron*.

Tabel 1 Informasi kedalaman yang diperoleh dengan *secondary electron* dan *backscattered electron* dari beberapa unsur

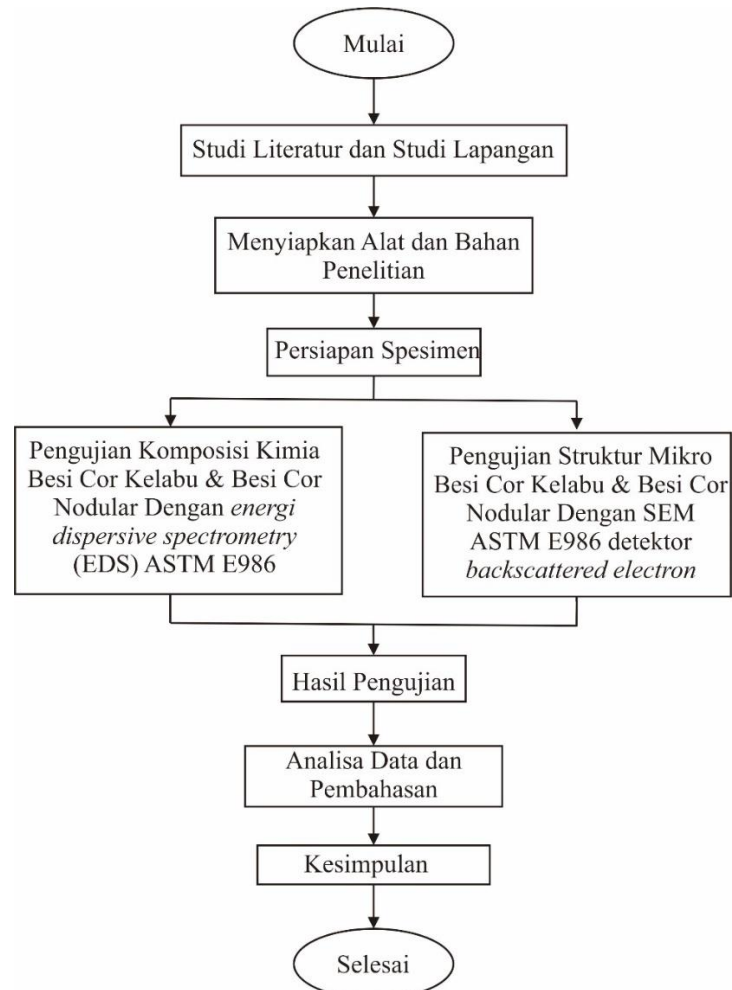
Element	Atomic number	Density, g/cm <sup>3</sup>	Depth of information, nm					
			Secondary electrons	Backscattered electrons				
				5 keV	10 keV	20 keV	30 keV	50 keV
C	6	1.0	10.0	330	970	2800	5300	11,600
Al	13	2.7	1.2	120	360	1050	1950	4,290
Cu	29	8.9	0.5	40	110	320	590	1,300
Ag	47	10.5	1.0	30	90	270	500	1,100

*Backscattered electron* dihasilkan oleh satu peristiwa hamburan elastis sudut tunggal besar maupun beberapa sudut kecil. Proses pembentukan *backscattered electron* terjadi pada atom-atom di bagian permukaan sampel yang lebih dalam. Ini disebabkan tumbukan antara elektron dari sumber dengan inti atom. Distribusi energi *backscattered electron* tergantung pada energi electron insiden, jumlah electron kulit terluar, jumlah atom bahan dan kemiringan permukaan spesimen. Ketika jumlah atom bahan yang terkena sinar datang berkurang, maka *backscattered electron* lebih sedikit dan lebih banyak energi yang akan hilang (Sujatno dkk, 2015).

## 2. METODE

### 2.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian dilakukan dengan mengikuti alur penelitian yang telah direncanakan. Diagram alir dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4. Diagram Alir

## 2.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini, alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Alat :

- a. Mesin Gerinda Potong
- b. Mesin Poles
- c. Alat Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Bahan :

- a. Besi Cor Kelabu (*gray cast iron*)
- b. Besi Cor Nodular (*Nodular Cast Iron*)

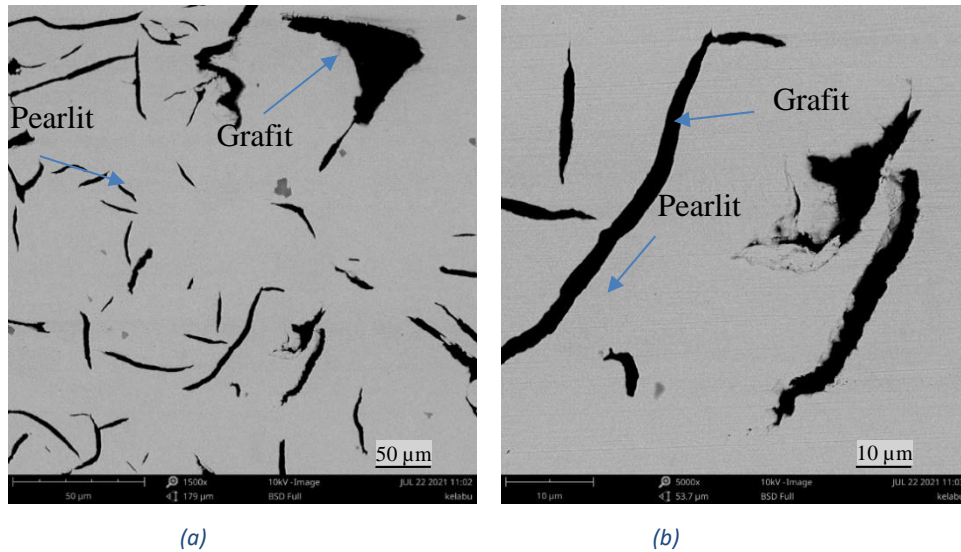
## 2.3 Proses Penelitian

Langkah – langkah dalam proses penelitian adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan beberapa perlengkapan pengujian terkait spesimen uji dimensi  $\pm 1$  cm<sup>3</sup> dan alat dengan pemeriksaan kebersihan alat maupun konduktivitas spesimen.
2. Menjepit spesimen yang akan diuji kedalam meja yang sudah disediakan, serta pastikan terpasang dengan kaku agar getaran semakin kecil.
3. Setelah itu atur ketinggian dan kemiringan meja tanpa merubah penjepit spesimen agar tembakkan elektron tepat pada spesimen uji.
4. Menggunakan vakum bersih 1,33 kali 10 – 2 Pa (10 – 4 mm Hg) atau lebih baik untuk meminimalkan kontaminasi spesimen yang dihasilkan dari sinar elektron dan hidrokarbon sisa berinteraksi selama pemeriksaan. Kehadiran lapisan kontaminasi memiliki efek yang mengurangi kualitas tepi gambar.
5. Memilih tegangan senjata elektron dalam rentang kondisi pengoperasian yang diinginkan (pengukuran kinerja harus diulang untuk setiap pengaturan kV yang digunakan).
6. Menyesuaikan bukaan lensa dan stigmator untuk resolusi optimal (*astigmatisme minimum*) dengan prosedur resolusi menggunakan mode pencitraan *backscattered electron* (BSE).
7. Menemukan bidang pada spesimen yang dipilih dengan menunjukkan detail tepi yang diinginkan atau lokasi yang akan discan.
8. Memilih pembesaran 1500 kali dan 5000 kali untuk pemfokusan gambar yang kritis dan memperlihatkan transisi tepi gambar dari kontras putih ke hitam dengan lebar horizontal.
9. Mendapatkan foto jejak garis di tepi yang diinginkan menggunakan waktu perekaman setidaknya 2 detik dan bandwidth 4 kHz (jika SEM dilengkapi dengan kontrol bandwidth). Namun perlu diperhatikan bahwa laju pemindaian yang lambat dalam mode jejak baris dapat menyebabkan pembakaran fosfor layar CRT untuk layar SEM-CRT yang disesuaikan secara kurang benar.

### **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

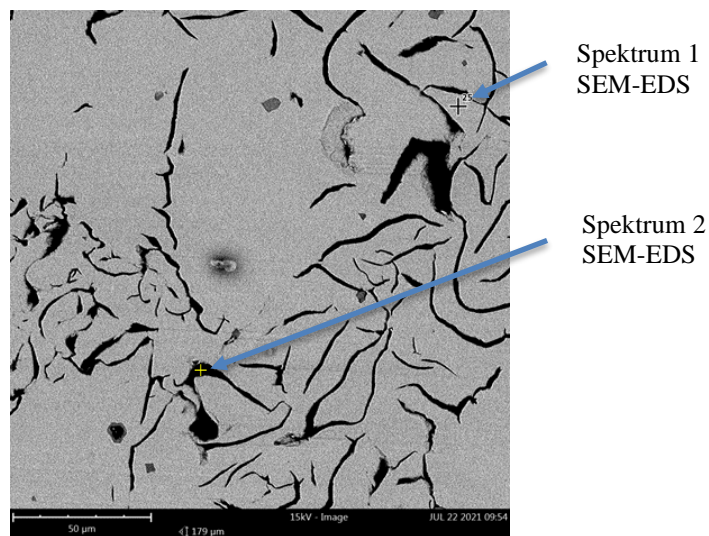
#### **3.1 Analisa Hasil Pengujian SEM Pada Besi Cor Kelabu (*gray cast iron*)**



Gambar 5 Struktur mikro besi cor kelabu hasil SEM : (a) perbesaran lensa 1500 kali, (b) perbesaran lensa 5000 kali

Gambar 5 (a) menunjukkan hasil dari perbesaran lensa 1500 kali dan gambar 5 (b) dengan perbesaran lensa 5000 kali dengan *scanning electron microscope* menggunakan detektor BSE (*back scattered electron*). Gambar 5 menunjukkan adanya fasa yang terbentuk di dalam struktur mikro besi cor kelabu, yaitu fasa grafit dan perlit. Dengan sekilas terlihat jelas perbedaan kontras warna struktur mikro pada gambar tersebut, terdapat warna gelap (hitam) dan terang (abu-abu). Seperti yang tertera pada gambar 5 bahwa bagian yang berwarna gelap merupakan fasa grafit dan warna yang terang (abu-abu) menunjukkan fasa perlit.

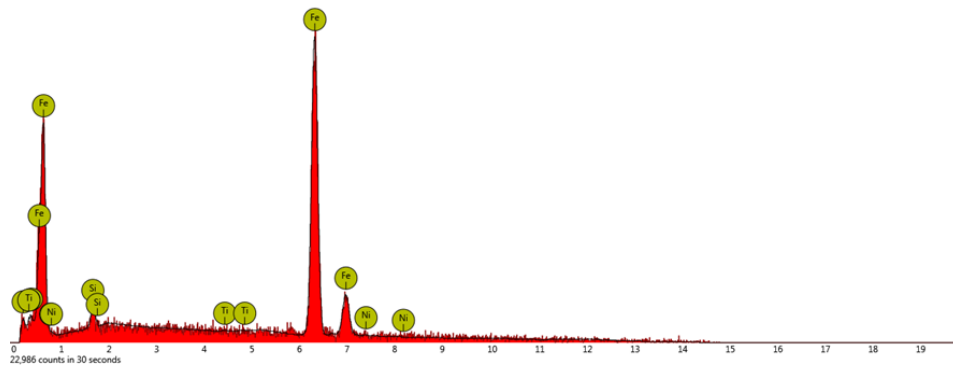
### 3.1.1 Analisa Hasil Pengujian SEM-EDS/EDX Besi Cor Kelabu (*gray cast iron*)



Gambar 6 Titik mikrograf SEM untuk EDS pada besi cor kelabu

Berdasarkan penentuan titik uji EDS/EDX gambar 6 pada fasa perlit maka didapatkan *line analysis* EDS/EDX fasa perlit seperti yang ditunjukkan gambar 7. Dari *line analysis* gambar 7 diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi pada spektrum fasa perlit besi cor kelabu. Fe (*ferro*) merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 75,32 % atom. Sedangkan untuk unsur lainnya dapat dilihat pada tabel 2 dengan prosentase komposisi yaitu, unsur C (*carbon*) = 21,71 % atom, Si (*silicon*) = 2,47 % atom, Ni (*nickel*) = 0,36 % atom, dan Ti (*titanium*) = 0,14 % atom.

Menurut uraian hasil di atas, maka dapat dinyatakan bahwa spektrum satu gambar 4.2 merupakan fasa perlit yang terdiri dari campuran sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) dan ferit. Hal ini dikarenakan bahwa prosentase Fe (*ferro*) = 75,32 % dan C (*carbon*) = 21,71 % yang mendekati prosentase dari sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Selain itu, terdapat prosentase 5,71 % berat unsur C (*carbon*) yang mendekati 6,67 % berat pada  $\text{Fe}_3\text{C}$ .



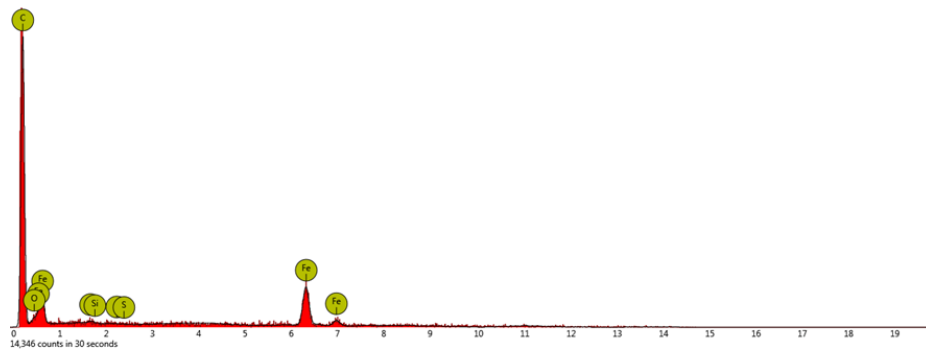
Gambar 7 *Line analysis* fasa perlit besi cor kelabu (spektrum 1)

Tabel 2 Hasil *line analysis* fasa perlit besi cor kelabu (spektrum 1)

Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.
Fe	75.32	92.16
C	21.71	5.71
Si	2.47	1.52
Ni	0.36	0.46
Ti	0.14	0.15

Pada pengujian EDS/EDX spektrum 2 gambar 4 pada fasa grafit didapatkan *line analysis* EDS/EDX seperti pada gambar 8 yang menunjukkan munculnya beberapa unsur penyusun fasa grafit. Untuk data prosentase komposisi spektrum fasa grafit, dapat dilihat pada tabel 3. Pada tabel menunjukkan bahwa unsur tertinggi fasa grafit adalah C (*carbon*) sebesar 91,73 % atom dan diikuti unsur Fe (*ferro*) sebesar 4.70 % atom. Sedangkan untuk unsur yang lain adalah O (*oxygen*) = 3,49 % atom, Si (*silicon*) = 0,06 % atom, dan S (*sulfur*) = 0,02 % atom.

Berdasarkan data yang diperoleh, maka dapat dinyatakan bahwa pada spektrum dua gambar 6 merupakan fasa grafit yang berbentuk serpih, hal ini dikarenakan kandungan unsur C (*carbon*) menjadi unsur tertinggi pada spektrum tersebut dengan prosentase mendekati 100 % yang artinya hampir keseluruhan merupakan unsur carbon.

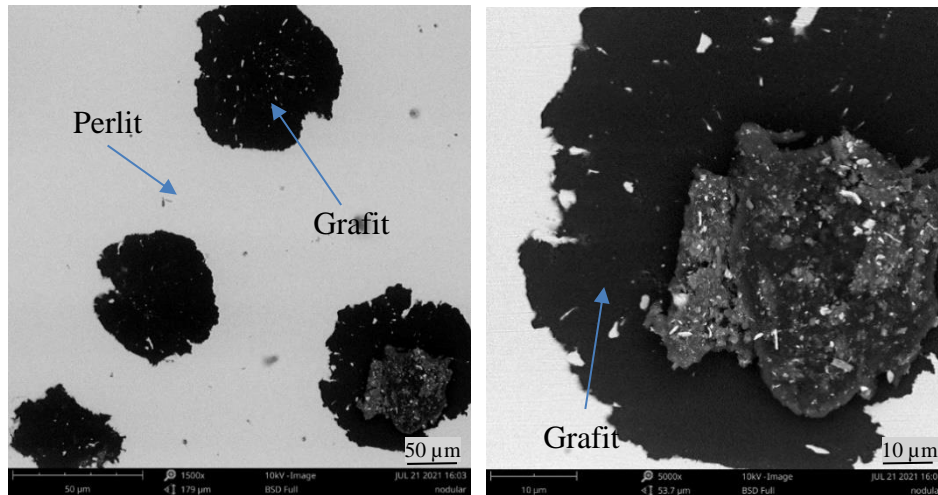


Gambar 8 *Line analysis* fasa grafit besi cor kelabu (spektrum 2)

Tabel 3 Hasil *line analysis* fasa grafit besi cor kelabu (spektrum 2)

Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.
C	91.73	77.44
Fe	4.70	18.47
O	3.49	3.92
Si	0.06	0.11
S	0.02	0.05

### 3.2 Analisa Hasil Pengujian SEM Pada Besi Cor Nodular (*gray cast iron*)

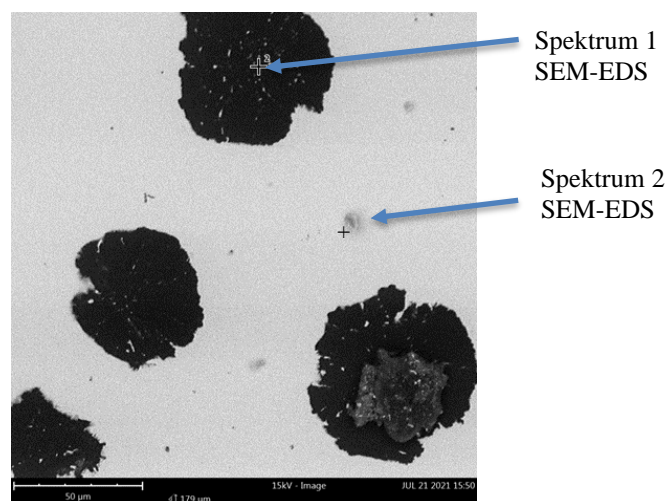


2.2.1 (b)

Gambar 9 Struktur mikro besi cor nodular hasil SEM : (a) perbesaran lensa 1500 kali, (b) perbesaran lensa 5000 kali

Berdasarkan pengamatan terhadap hasil pengujian SEM (*scanning electron microscope*) besi cor nodular. Dari gambar 9 menunjukkan terdapat beberapa fasa, yaitu fasa grafit dan fasa perlit dengan kontras warna yang berbeda. Terlihat bahwa fasa grafit pada besi cor nodular (*nodular cast iron*) cenderung berbentuk bulat atau nodul dengan warna lebih gelap atau kehitaman dengan ukuran yang hampir seragam, grafit tersebut mampu menghasilkan kekuatan tinggi dan ketahanan aus yang baik. Selain grafit terdapat juga fasa perlit yang terlihat mendominasi hasil foto struktur mikro dengan warna yang lebih terang.

### 3.2.1 Analisa Hasil Pengujian SEM-EDS/EDX Besi Cor Nodular (*nodular cast iron*)

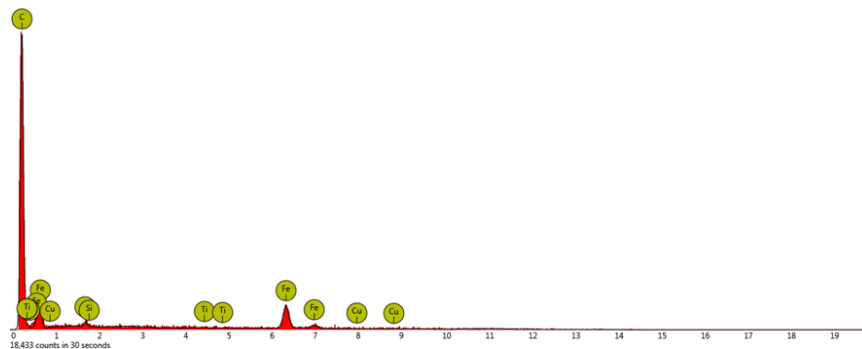


Gambar 10 Titik mikrograf SEM untuk EDS pada besi cor nodular



Berdasarkan pengujian EDS/EDX yang sudah dilakukan pada titik fasa grafit pada gambar 10, maka didapatkan *line analysis* EDS fasa grafit seperti pada gambar 11. Dari gambar terlihat bahwa terdapat beberapa unsur komposisi yang terdeteksi pada spektrum satu. Untuk prosentase komposisi unsur ditunjukkan pada tabel 4 dengan unsur C (*carbon*) menjadi unsur tertinggi sebesar 96,52 % atom. Kemudian untuk komposisi unsur yang lain adalah Fe (*ferro*) = 3.18 % atom, Si (*silicon*) = 0,15 % atom, Cu (*tembaga*) = 0,09 % atom, dan Ti (*titanium*) = 0,05 % atom.

Berdasarkan uraian di atas maka dapat dinyatakan bahwa spektrum satu pada besi cor nodular merupakan fasa grafit. Hal ini dikarenakan besarnya kandungan C (*carbon*) yang hampir 100 % dan unsur-unsur lain dengan prosentase jauh di bawahnya.



Gambar 11 *Line analysis* fasa grafit besi cor nodular (spektrum 1)

Tabel 4 Hasil *line analysis* fasa grafit besi cor nodular (spektrum1)

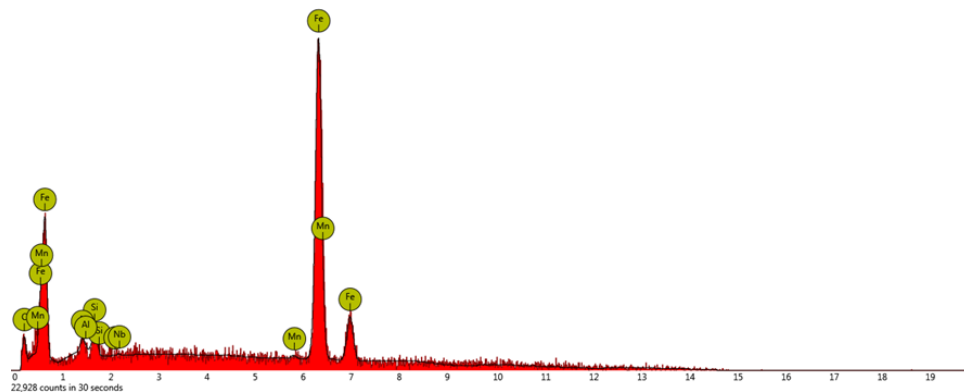
Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.
C	96.52	85.90
Fe	3.18	13.17
Cu	0.09	0.44
Si	0.15	0.32
Ti	0.05	0.17

Berdasarkan pengujian EDS/EDX yang sudah dilakukan pada titik fasa perlit gambar 10, maka didapatkan *line analysis* EDS fasa perlit seperti pada gambar 12 yang memperlihatkan adanya beberapa unsur komposisi. Untuk prosentase komposisi unsur selengkapnya ditunjukkan pada tabel 5 dengan prosentase tertinggi unsur Fe (*ferro*) sebesar 61,10 % atom dan diikuti unsur C (*carbon*) sebesar 34,74 % atom. Sedangkan komposisi unsur yang lain adalah Si



(silicon) = 2,23 % atom, Al (aluminium) = 1,41 % atom, Mn (mangan) = 0,38 % atom, dan Nb (niobium) = 0,14 % atom.

Berdasarkan uraian di atas dapat dinyatakan bahwa pada spektrum dua gambar 10 merupakan fasa perlit yang terdiri dari campuran sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) dan ferit. Hal ini dikarenakan prosentase Fe (*ferro*) = 61,10 % dan C (*carbon*) = 34,72 % yang mendekati prosentase dari sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Selain hal tersebut, dari hasil EDS/EDX menunjukkan hasil prosentase berat unsur C (*carbon*) = 10,53 % berat, hal ini masih dalam angka yang relatif mendekati prosentase C (*carbon*) pada sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) sebesar 6,67 % berat.



Gambar 12 Titik mikrograf SEM untuk EDS *line analysis* fasa perlit pada besi cor nodular

Tabel 5 Hasil *line analysis* fasa perlit besi cor nodular (Spektrum 2)

Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.
Fe	61.10	86.08
C	34.74	10.53
Si	2.23	1.58
Al	1.41	0.96
Mn	0.38	0.53
Nb	0.14	0.32

#### 4. PENUTUP

Berdasarkan analisa data dan pembahasan hasil pengujian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Setelah dilakukan Uji SEM (*scanning electron microscope*) maka didapatkan struktur mikro pada besi cor kelabu dan besi cor nodular. Untuk besi cor kelabu terdapat fasa grafit, perlit, dan ferit yang tidak terlihat. Kemudian grafitnya berbentuk *flake* (serpih) yang tersebar pada matrik perlit. Sehingga besi cor kelabu

ini adalah besi cor kelabu perlitik. Selanjutnya untuk besi cor nodular memiliki struktur mikro grafit, perlit dan ferit yang tidak terlihat. Struktur mikro grafit terlihat berbentuk bulat dengan ukuran yang hampir seragam dan tersebar pada matrik perlit. Sehingga besi nodular yang digunakan merupakan besi cor nodular perlitik.

2. Pada komposisi penyusun besi cor kelabu terdapat beberapa unsur pada setiap fasanya, untuk prosentase berdasarkan berat fasa perlit terdapat unsur Fe = 92,16 % berat, C = 5,71 % berat, Si = 1,52 % berat, Ni = 0,46 % berat, dan Ti = 0,15 % berat. Kemudian prosentase berdasarkan jumlah atom yaitu Fe = 75,32 % atom, C = 21,71 % atom, Si = 2,47 % atom, Ni = 0,36 % atom, Ti = 0,14 % atom. Sedangkan untuk fasa grafit memiliki komposisi unsur yaitu C = 77,44 % berat, Fe = 18,47 % berat, O = 3,92 % berat, Si = 0,11 % berat, S = 0,05 % atom. Kemudian prosentase berdasarkan jumlah atom yaitu C = 91,73 % atom, Fe = 4,70 % atom, O = 3,49 % atom, Si = 0,06 % atom, dan S = 0,02 % atom. Kemudian pada besi cor nodular didapatkan komposisi unsur pada setiap fasanya yaitu pada fasa grafit unsur C = 85,90 % berat, Fe = 13,17 % berat, Cu = 0,44 % berat, Si = 0,32 % berat, dan Ti = 0,17 % berat. kemudian prosentase berdasarkan jumlah atomnya yaitu C = 96,52 % atom, Fe = 3,13 % atom, Cu = 0,09 % atom, Si = 0,15 % atom, dan Ti = 0,05 % atom. Sedangkan untuk fasa perlit memiliki komposisi unsur Fe = 86,08 % berat, C = 10,53 % berat, Si = 1,58 % berat, Al = 0,96 % berat, Mn = 0,53 % berat, dan Nb = 0,32 % berat. Kemudian untuk prosentase berdasarkan jumlah atomnya yaitu Fe = 61,10 % atom, C = 34,74 % atom, Si = 2,23 % atom, Al = 1,41 % atom, Mn = 0,38 % atom, dan Nb = 0,14 % atom.

## **PERSANTUNAN**

Terima kasih kepada Bapak Ir. Agung Setyo Darmawan, M.T. selaku Pembimbing Tugas Akhir, Bapak Patna Partono, S.T.,M.T. dan Bapak Ir. Subroto, M.T. selaku Anggota Dewan Penguji I dan II atas bimbingannya dalam penulisan laporan Tugas Akhir.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Aaronson, Hubert I. et al. 1992. "Asm Metals Handbook, Vol 09 Metallography and Microstructure." <http://es.slideshare.net/miftaAlHkiem/asm-metals-handbook-vol->

09-metallography-and-microstructure.

- Aggen, G, Frank W. Akstens, Michael Allen, and H.S Avery. 1993. "ASM Handbook, Vol 01-Properties and Selection : Iron, Steels and Hight Performance Alloys." *Metals* 1(5).
- Callister, W.D. Rethwisch. 2014. "Materials Science and Engineering: An Introduction (2nd Edition)." *Materials & Design* 12(1): 59.
- Conshohocken, West. 1997. "ASTM E-986 Standard Practice for Scanning Electron Microscope Beam Size Characterization." : 1–3. <http://manuals-and-standards.blogspot.com/search?q=ASTM+E>.
- Darmawan, A S. 2020. *Ilmu Bahan Teknik*. Cetakan 1. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Goldstein, Joseph I. et al. 2003. Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. Third Edit.
- Goldstein, Joseph I et al. 2018. *Microscopy and X-Ray Microanalysis*. Forth Edit.
- Jeyaprakash, N., Che Hua Yang, Muthukannan Duraiselvam, and G. Prabu. 2019. "Microstructure and Tribological Evolution during Laser Alloying WC-12%Co and Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>–25%NiCr Powders on Nodular Iron Surface." *Results in Physics* 12(December 2018): 1610–20. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.01.069>.
- Li, Yongjian et al. 2019. "Microstructure Characteristics and Mechanical Properties of New-Type FeNiCr Laser Cladding Alloy Coating on Nodular Cast Iron." *Journal of Materials Processing Technology* 269(August 2018): 163–71. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.02.010>.
- Nugroho, Yusup, and Dr Bayuseno. 2012. "Analisis Kegagalan Las Dan Rekomendasi Standard Operating Procedure (Sop) Pada Pengelasan Pipa Kondensor PT. Siemens Indonesia." *Eprints Undip*.
- Salawu, Enesi Y. et al. 2020. "Investigation of the Effects of Selected Bio-Based Carburising Agents on Mechanical and Microstructural Characteristics of Gray Cast Iron." *Heliyon* 6(2): e03418. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03418>.
- Sujatno, Agus, Rohmad Salam, Bandriyana Bandriyana, and Arbi Dimiyati. 2015. "Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium." *Jurnal Forum Nuklir* 9(1): 44.

- Supriyono. 2017. *Material Teknik*. Cetakan 1. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Surdia, Tata, and Shinroku Saito. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. 4th ed. Jakarta: PT.Pradnya Paramita.
- Tang, Peng et al. 2017. “Effect of Al-Ti-C Master Alloy Addition on Microstructures and Mechanical Properties of Cast Eutectic Al-Si-Fe-Cu Alloy.” *Materials and Design* 115: 147–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2016.11.036>.
- Zhou, Yong xin et al. 2018. “Microstructure and Properties of NiCrBSi Coating by Plasma Cladding on Gray Cast Iron.” *Surface and Coatings Technology* 361: 270–79. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.12.055>.